Caldasia 22 (2): 271-283

FLUJOS DE NUTRIENTES EN UN BANCO DE OSTRAS DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA

DIANA ISABEL GÓMEZ-LÓPEZ

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, A.A. 849, Santa Marta, Colombia. digomez@invemar.org.co

NÉSTOR H. CAMPOS-C.

Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. nhcampos@ciencias.ciencias.unal.edu.co, nhcampos@invemar.org.co

JOSÉ ERNESTO MANCERA-P.

Southeastern Louisiana University, P.O.Box 41297, Hammond, LA, USA. emancera@usl.edu

RESUMEN

Un flujo de agua a través de un túnel plástico (10 L x 0.80 W x 0.30 H m) fue utilizado para determinar las tasas de liberación-retención de amonio y fosfatos sobre dos tipos de sustratos (con y sin ostras) en un banco de ostras en el sector nororiental de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En general se observa que los flujos de amonio y fosfatos son inversamente proporcionales al caudal de agua , y que los valores obtenidos en el sustrato sin ostras son mayores comparados a los obtenidos en el sustrato con ostras. Estas diferencias entre los sustratos pueden haberse debido a la baja densidad de ostras en el área (7.5 ostras/ m^2) y a la gran actividad microbiana y procesos de difusión de los sedimentos característicos de este ecosistema estuarino.

Palabras clave: banco de ostras, *Crassostrea rhizophorae*, dinámica de nutrientes, nitrógeno inorgánico, ortofosfato.

ABSTRACT

Water flow through a plastic tunnel (10L x 0.80W x 0.30H m) was used to determine nutrient retention and release rates over two substrates (with and without oysters) in a natural oyster bank at the northeastern end of the Cienaga Grande de Santa Marta. In general terms, nutrient fluxes are inversally related to the water flow. Values obtained over the substrate without oysters were higher than those observed over the substrate with oysters. Such differences can be explained by the low oyster density in the area and the great microbial activity and typical sediment diffusion processes in this estuarine ecosystem.

Key words: *Crassostrea rhizophorae*, nitrogen, nutrient dynamics, orthophosphate, oyster banks.

INTRODUCCIÓN

Los bancos de ostras son sistemas densamente poblados por organismos filtradores principalmente, entre los que se encuentran moluscos, crustáceos y peces. Estos habitan en zonas intermareales y sublitorales en ecosistemas estuarinos, en donde una significante proporción de nutrientes para producción primaria proviene de la remineralización de materia particulada provocada por las comunidades del fondo (Nixon 1981). La entrada de materia particulada desde la columna de agua influye en el metabolismo bentónico y en la liberación de nutrientes como amonio y fósforo inorgánico medido como ortofosfatos (Kelly & Nixon 1984). Los flujos en la interfase sedimento-agua dependen también de las tasas de descomposición del detrito y de la liberación de nutrientes desde el agua intersticial al agua supradyacente por difusión o actividad biológica. Los organismos filtradores bentónicos pueden regenerar nutrientes por sus propios procesos metabólicos (Nixon et al. 1980) actuando como filtros biológicos, removiendo material desde el agua y liberando en los productos de desecho nutrientes disueltos como el amonio y los fosfatos. Esta característica permite suponer que el estudio de los flujos de nutrientes en bancos de ostras puede ofrecer bases para el conocimiento del funcionamiento bioquímico de los ecosistemas estuarinos, como es el caso de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), el complejo lagunar-estuarino mas grande de la costa caribe de Colombia.

Los bancos de ostras de la CGSM fueron dominados por grandes cantidades de *Crassostrea rhizophorae*, según registros de Ciardelli & Castaño (1970) quienes registraron 19 individuos/ m^2 en 72 km^2 de área total ocupada por bancos; Squires & Riveros (1971) estimaron en 42 km^2 el área total de bancos y una producción de ostras del orden de 25.000 ton/año; Pedraza (1978), quien trabajó en la zona norte de la CGSM, encontró 156 individuos/ m^2 y una producción de 300.000 ton/año; Hernández (1983) estimó en 3 km^2 el área ocupada por bancos de ostras en la zona norte, con una producción de 939 ton/año; Mancera (1991) reportó 5.7 km^2 de área total abarcada por bancos, con 1100 ostras/ m^2 y finalmente, según el Estudio de Impacto Ambiental (Anónimo 1994) realizado a partir del proyecto de reapertura de canales en el delta exterior derecho del Río Magdalena, se consideró que por la abundancia de ostiones, el banco de ostras de Palmira era el lugar predilecto de recolección. Sin embargo, en 1997 durante el período de muestreo de éste estudio, se observó una disminución considerable de ostras y de sustrato con conchas suficientes para sostener las siguientes generaciones, encontrándose 7.5 individuos/m^2.

Debido a la importancia de la CGSM (con una producción primaria de 0,7 g C /m^2/ día) como eje principal de recursos pesqueros de la costa Caribe y al interés por conocer los procesos biogeoquímicos que son causados como consecuencia de la alimentación de los bivalvos en un ecosistema tropical, se realizó este estudio cuyo objetivo principal fue el de conocer las relaciones de intercambio de nutrientes entre un banco de ostras y la columna de agua en las condiciones propias de la Ciénaga Grande de Santa Marta

MATERIALES Y MÉTODOS

El banco de ostras seleccionado para realizar esta investigación tiene un área aproximada de 100 X 30 m y se encuentra ubicado a 0.6 km al frente de la población de Palmira, jurisdicción del municipio de Pueblo Viejo en la zona nororiental de la CGSM, localizada entre los 10° 43' - 11° 00' Norte y 74° 15-35' Oeste, formando parte del sistema deltáico del Río Magdalena (Figura 1). El banco está constituido por sedimentos areno-fangosos y calcáreos, como restos de conchas de otros bivalvos (Cosel 1986), sobre los cuales también se establecen otras comunidades de crustáceos, moluscos y peces.

La Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra localizada en una zona particularmente árida, presentando de 6 a 7 meses secos (finales de diciembre a abril) y una corta estación seca (mediados de mayo a julio) cuando predominan los vientos Alisios del noreste; de finales de julio hasta mediados de diciembre se produce la estación lluviosa, con una influencia menos fuerte de estos vientos (Wiedemann 1973).

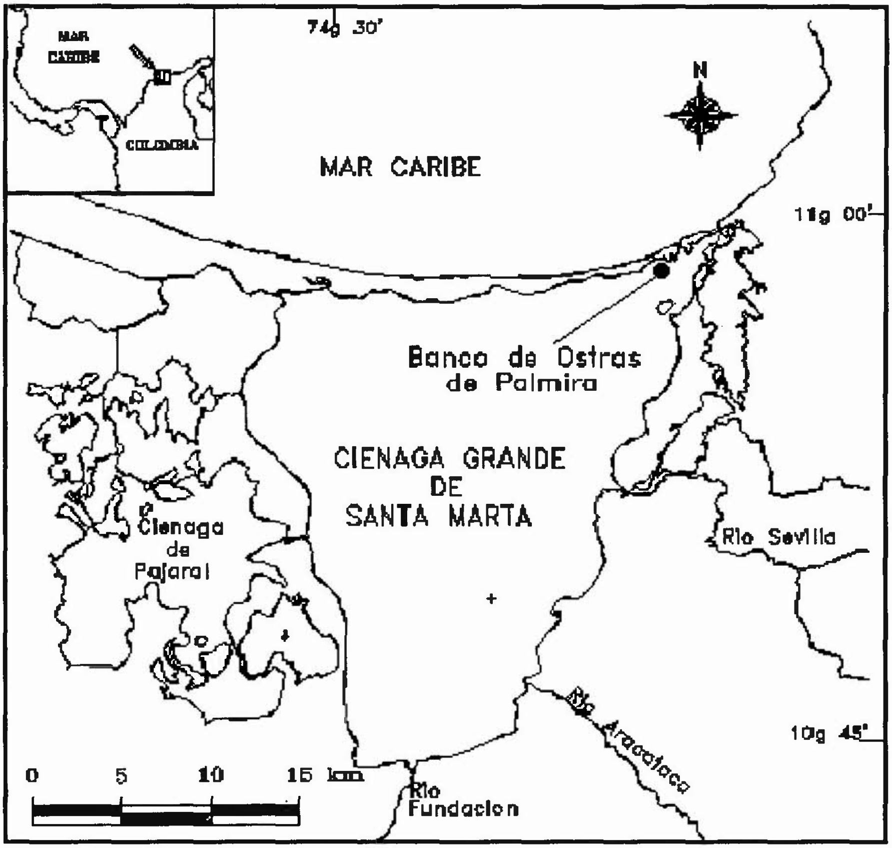
MAR CARIBE
COLOMBIA
74g 30'
N
MAR CARIBE
11g 00'
Banco de Ostras de Palmira
CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA
Cienaga de Pajaral
Rio Sevilla
10g 45'
Rio Aracataca
0 5 10 15 km
Rio Fundacion

Figura 1. Localización del banco de ostras de Palmira, en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Se abarcaron tres períodos climáticos del año. El primero correspondió a la época seca (febrero), el segundo a una época de transición entre las épocas seca y lluviosa (mayo) y el tercero a comienzos de la época lluviosa (agosto). Por cada mes se efectuaron tres réplicas del experimento en tres semanas consecutivas. A comienzos de cada semana se realizaron dos muestreos de cuatro horas en el día y otras cuatro horas en la noche. Adicionalmente, durante cada hora de muestreo, se determinó el contenido de oxígeno disuelto, la temperatura, la velocidad de la corriente y la salinidad.

Para medir el flujo de nutrientes sobre el banco de ostras manteniendo un área y un volumen conocidos, se utilizó un sistema de túnel modificando el diseño de Dame et al. (1984). Se colocaron dos túneles de plástico trasparente grueso de 10 m de largo por 0.80 m de ancho y 0.30 m de alto, sostenidos con tubos de PVC (media pulgada) cada 2.5 m (Figura 2); ambos túneles se colocaron paralelamente, separados entre sí por 15 cm, uno de ellos sobre el sustrato con ostras y el otro sobre un sustrato del que se removieron previamente las ostras manualmente. Los túneles se colocaron en dirección a la corriente. El momento de recolección de las muestras de agua a la entrada y salida de los túneles se estimó la velocidad de la corriente por medio de flujómetros (TSK®) montados a la entrada de los túneles, definiéndose así el tiempo de residencia de la masa de agua. Previamente se

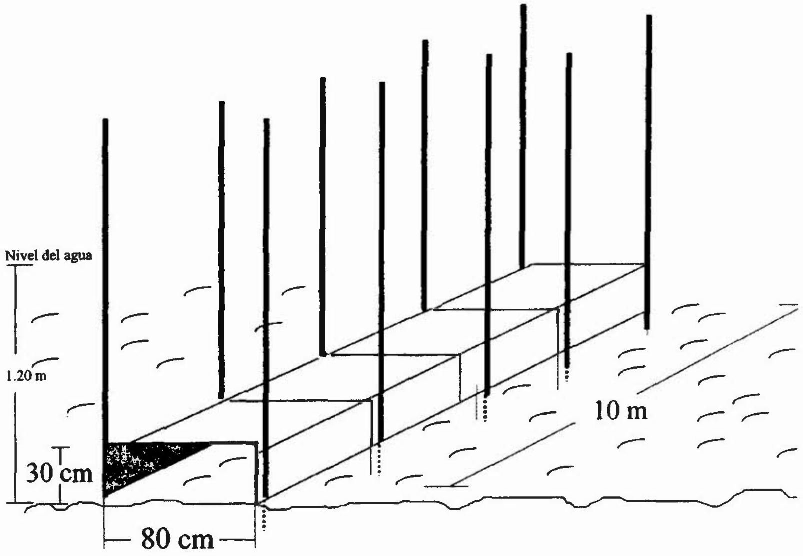

Figura 2. Dibujo esquemático del túnel utilizado para la determinación del flujo de nutrientes en un banco de ostras en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

comprobó que el plástico con que estaban fabricados los túneles no afectaba la biogeoquímica del agua. Igualmente, mediciones seguidas del flujo del agua dentro y fuera de los túneles mostraron que la velocidad del caudal de la masa de agua que pasó a través de ellos no sufrió alteraciones.

Soportes de madera de 2.5 m de largo, instalados en los mismos sitios que los tubos de PVC, delimitaron el área de muestreo (8 m^2) evitando posibles perturbaciones accidentales y sirvieron de referencia para estimar la densidad de ostras en el área mediante un barrido con red de arrastre sobre el área bajo el túnel. Este método se utilizó debido a que las ostras no se encontraban adheridas entre sí ni al sustrato.

Las muestras de agua (1 L) se colectaron cada hora durante un período de cuatro horas simultáneamente en los dos túneles, tanto a la entrada como a la salida de los mismos, mediante dos bombas sumergibles con capacidad de extracción de 1000 L/ h . Estas se filtraron con bombas de vacío manuales y membranas Whatman GF/C 4.7 mm, para determinación del contenido de nitritos (método de la sulfanilamida), nitratos (método de reducción por columna) y fosfatos (método del ácido ascórbico). Por último, se recolectaron en viales plásticos 10 ml de agua sin filtrar para cuantificar el contenido de amonio (método del fenol) según metodología de Strickland & Parsons (1972), con algunas modificaciones de Greenberg et al. (1992). Las muestras junto con el agua filtrada restante, se mantuvieron a 4°C para la determinación de los nutrientes en el laboratorio con límite de detección analítico y del método de 0.01 µM.

Teniendo en cuenta que el flujo de agua dentro del túnel fue continuo, la tasa neta de cambio de un constituyente particular se calculó por la diferencia de concentración de la masa entrante y saliente del túnel sobre el tiempo de residencia y se multiplico por el volumen de la masa de agua fluyendo dentro del túnel (2.5 m^3). Los resultados corresponden a números enteros que se expresan positivos (+)

cuando se refieren a retención o sedimentación y negativos (-) para liberación o resuspensión. Posteriormente, a fin de calcular la masa de flujo total en el área de los túneles, las tasas netas de flujo entre el fondo y la columna de agua se calcularon por el área correspondiente (8 m^2).

$$\text{Tasa Neta} = \{(C_1 - C_2/T) \times 2.5 \text{ m}^3\}/\ 8 \text{ m}^2$$

Debido a la gran variabilidad que se presentó entre días y muestreos hubo que realizar todos los análisis por métodos estadísticos no paramétricos. Los tres días por período climático fueron promediados para correlacionarlos de forma simple con el caudal. Para relacionar los flujos de los nutrientes con las variables fisicoquímicas, se utilizaron los promedios por sustrato y época (n=12) y se hizo un análisis de componentes principales mediante el programa Statgraphics. Los tres primeros componentes principales se correlacionaron de forma simple por el rango de Spearman con los flujos iniciales de las mismas formas nitrogenadas y de fosfatos, oxígeno, temperatura y salinidad, medidos en la entrada a los túneles. Se interpretaron los resultados como significativos cuando p0.05. . Con el fin de discriminar mejor el comportamiento promedio en el tiempo de nitritos y nitratos, se sumaron sus fracciones. En el tercer día de la época 1 ó seca ocurrió un percance con el túnel del sustrato sin ostras, por lo que no se pudo tomar ninguna muestra en todo el día de muestreo y esto corresponde en los análisis a que en algunas gráficas el número de datos sea distinto. Para poder comparar los resultados de este estudio con los de otros autores, éstos se presentan con las mismas unidades en que fueron reportados en la bibliografía revisada.

RESULTADOS

FLUJOS DE NUTRIENTES: Con caudales hasta de 0.5 m^3/min en los sustratos con ostras (Figura 3a) y sin ostras (Figura 3b), se presentaron los mayores intercambios entre el medio pelágico y los sedimentos. En general, los valores fluctuaron en rangos amplios entre los sustratos. La máxima tasa de liberación y retención de amonio se midió en caudales entre 0.18 y 0.22 m^3/min en la época seca; en la época de transición los caudales de máxima liberación fueron entre 0.11 y 0.22 m^3/min y en la época de lluvias entre 0.18 y 0.50 m^3/min.

La cantidad de amonio que se liberó de los sustratos con y sin ostras fue mayor en horas de la noche que en el día para las épocas seca y de transición (excepto en horas de la noche de la época de transición en el sustrato sin ostras). Esto indica probablemente un aumento en la actividad de los organismos en la noche, especialmente liberando amonio por procesos de excreción, o debido a la resuspensión que pudo haber sido provocada en las dos primeras épocas (seca y de transición) por la incidencia de los vientos en horas de la noche sobre la columna de agua. En la época lluviosa, la tendencia fue de retención en ambos sustratos, probablemente favorecida por los bajos caudales (en promedio 0.16 m^3 /min) que facilitaron la remoción del ion del medio por parte de los organismos bentónicos (Figuras 4a y b). Los valores netos totales entre los sustratos sin ostras y con ostras por época (Figura 5 a), indican que en febrero los dos sustratos liberaron en promedio más amonio (-46 mg /m^2/h) que lo que se retuvo en la época seca y de lluvias por separado.

Similarmente como se observó para el amonio, en caudales hasta de 0.5 m^3 /min se liberaron y retuvieron nitritos y nitratos en mayor cantidad durante todo el período de muestreo (Figuras 3 c y d). Se observa que el intercambio entre el sustrato sin ostras y el medio siempre es mayor con respecto al sustrato con ostras, patrón se repite siempre en todos los nutrientes (ver escala de las abcisas).

Las tasas de retención de nitritos y nitratos en el día y la noche de la época seca, y en el día de las épocas lluviosa y de transición en el sustrato con ostras fueron aumentando progresivamente a través del tiempo (Figura 4c). En la noche de la época de tramsición se registró la mayor tasa de liberación de los iones, la cual disminuyó en la época de lluvias. Esta situación es contraria a lo sucedido en el sustrato sin ostras, en donde prácticamente se presentó retención por consumo o adsorción de nutrientes por parte del sedimento en el día y la noche en las tres épocas (excepto durante el día en la

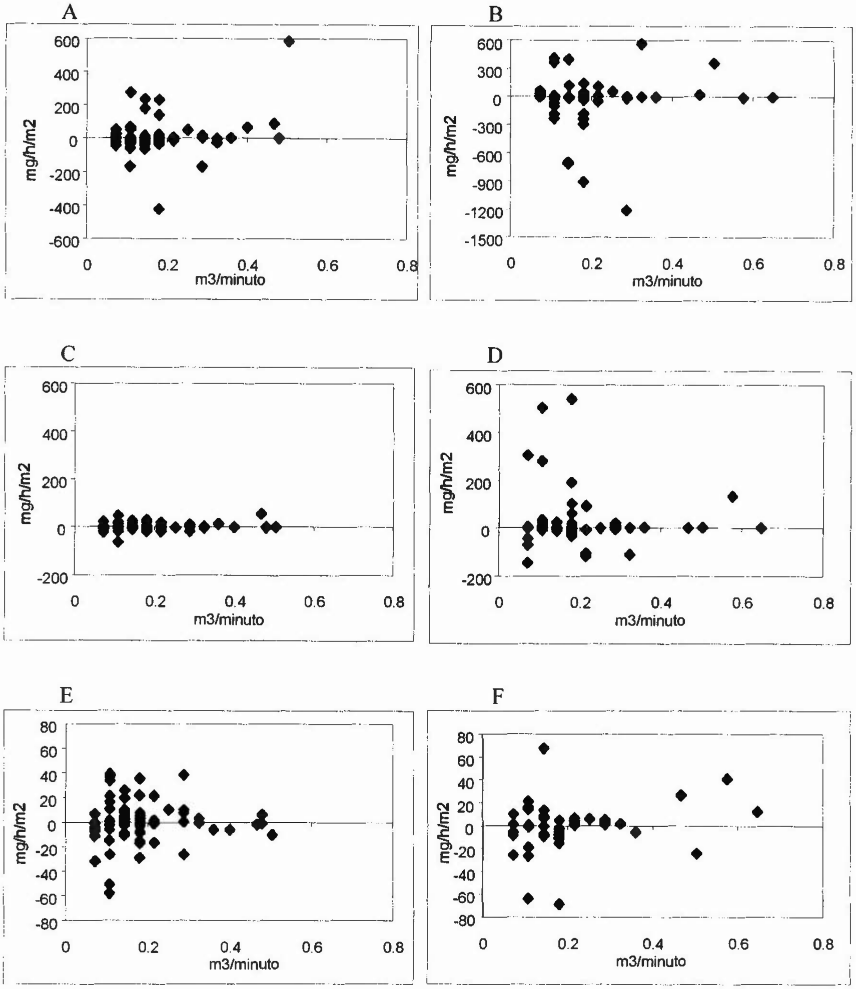

Figura 3. Tasas de flujo de los nutrientes en relación al caudal de agua en sustratos con y sin ostras. A. Amonio en el sustrato con ostras, B. Amonio en el sustrato sin ostras, C. Nitritos y nitratos en el sustrato con ostras, D. Nitritos y nitratos en el sustrato sin ostras, E. Fosfato en el sustrato con ostras, F. Fosfato en el sustrato sin ostras.

época seca) (Figura 4d). Los flujos de nitrito y nitrato para las 3 épocas indican que tanto el sedimento sin ostras, como con ostras (Figura 5b) fueron sumideros de estas formas inorgánicas de nitrógeno.

Al igual que en los casos anteriores se observó para el fosfato que en caudales hasta de 0.5 m^3/min se registró la mayor parte de las tasas de liberación y retención del ión (Figuras 3e y f). Las tasas de liberación o retención del fosfato fueron mayores en el sustrato sin ostras, y fueron observados en caudales de 0.18 y 0.22 m^3/min en el sustrato con ostras y a 0.18 m^3/min en el sustrato sin ostras respectivamente.

En las Figuras 4e y f se observa cómo los procesos de retención y/o liberación de fosfatos en los dos tipos de sustrato ocurren en sentido contrario entre sí, es decir, mientras que en el sustrato con ostras en las horas del día se libera predominantemente fosfato,

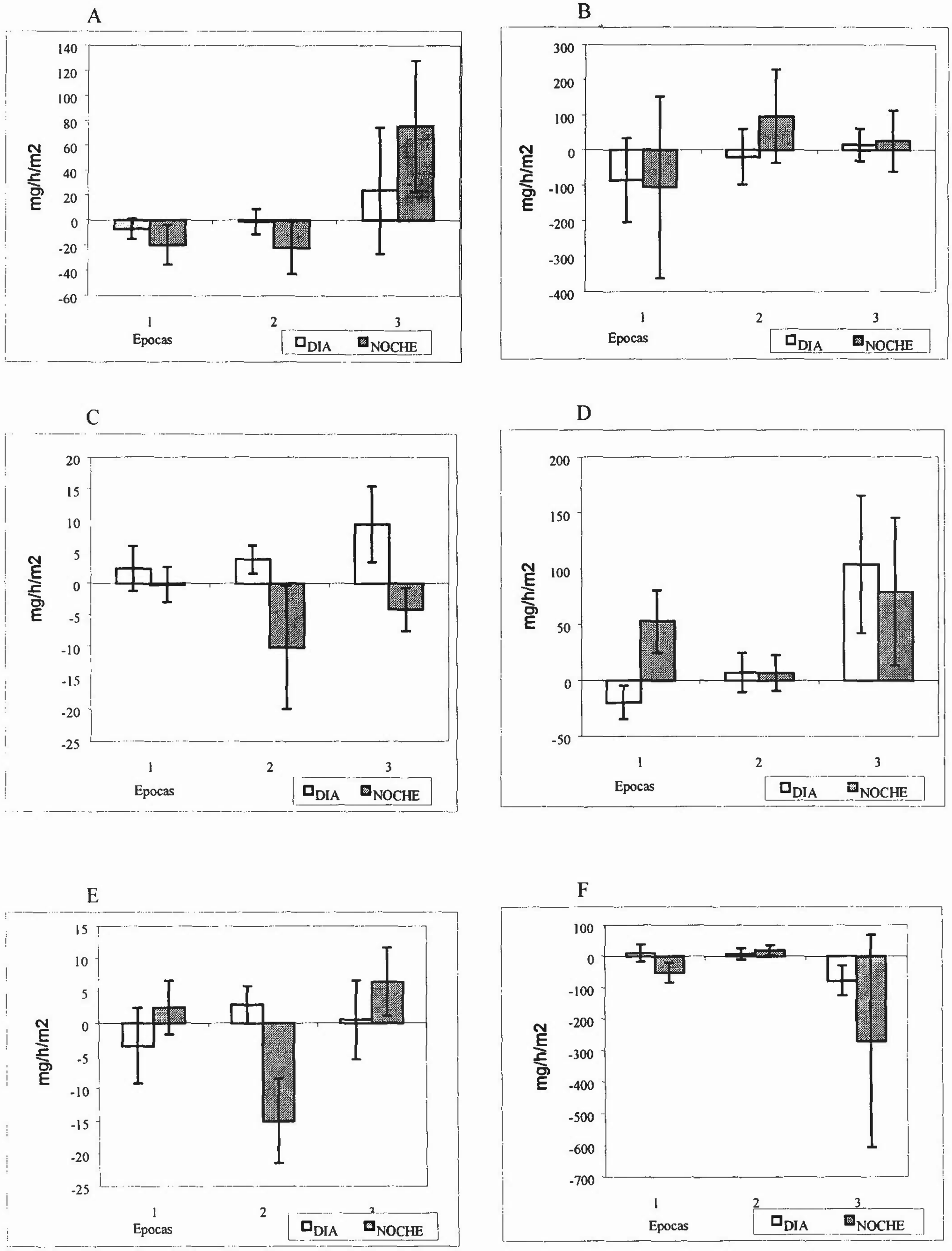

Figura 4. Valores promedio de flujos de nutrientes sobre los dos tipos de sustrato. Se presenta el error estándar (épocas 2 y 3 n=12, época 1 n=8). A. Amonio en sustrato con ostras, B. Amonio en sustrato sin ostras, C. Nitritos y nitratos en sustrato con ostras, D. Nitritos y nitratos en sustrato sin ostras, E. Fosfato sobre sustrato con ostras, F. Fosfato sobre sustrato sin ostras. Epoca 1=época seca, Epoca 2=época de transición, Epoca 3=época lluviosa.

simultáneamente en el sustrato sin ostras se retiene, por consumo por parte de los microorganismos del bentos o planctónicos y/o por procesos de adsorción de los sedimentos. La tendencia predominante de los sustratos en la época seca y en mayor grado en la época de lluvias, fue de liberación de fosfatos (8.81 y 85.17 mg/ m^2/h respectivamente), mientras que en la época de transición fue de retención (3.31 mg/m^2/h) (Figura 5c).

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: El porcentaje acumulativo de la varianza de los tres primeros componentes fue del 100%. Se tomaron los dos primeros componentes, en los que el porcentaje acumulado fue de 91%, con el propósito de comparar las muestras de cada uno de los sustratos durante las tres épocas de muestreo por períodos día y noche con relación a los vectores de los flujos de nutrientes.

Tanto los vectores o pesos de los flujos (en líneas) de los nitritos y nitratos (NO_X) como de los fosfatos están correlacionados inversamente entre sí a lo largo del componente uno (Figura 6). En la práctica, ambos nutrientes se encuentran asociados a las variaciones en el contenido de fitoplancton (según mediciones metábolicas en la relación fósforo-nitrógeno en la columna de agua), mientras que el amonio se encuentra muy correlacionado con el componente dos, que estaría disminuyendo con las mayores tasas de liberación y de retención de amonio obtenidas en conjunto entre los sustratos con y sin ostras, que fueron mucho mayores que las registradas en los demás nutrientes.

Los resultados de la correlación de Spearman (p0.05) entre las concentraciones iniciales y los flujos de los nutrientes, demostraron que ninguno de los nutrientes presentó alguna correlación significativa con las variables como el oxígeno, la temperatura y la salinidad. Esto indica que los flujos no dependieron de las variaciones climáticas, ni de los intercambios de masas de agua salobre con agua marina en horas del día y de la noche en la zona, sino de condiciones físicas, tales como resuspensión por efecto de los vientos, movimiento de los organismos, bajos caudales, etc. Además, las tasas de flujo del amonio se relacionaron directamente con las de los fosfatos (r = 0.6211, p = 0.0311), indicando probablemente que son utilizados simultáneamente por el plancton en la columna de agua para la producción primaria.

DISCUSIÓN

A lo largo del período de estudio no se observó una tendencia clara en los patrones de liberación o retención de nutrientes en el sustrato con ostras, pero sí la característica de que estos procesos se efectuaron en caudales desde 0.07 hasta máximo 0.5 m^3/min, para posteriormente disminuir por efecto del aumento del caudal. Esta situación en el sustrato sin ostras se extiende hasta caudales de 0.65 m^3 /min . El caudal óptimo para las máximas liberaciones y/o retenciones de nutrientes se encontró entre 0.07 y 0.18 m^3 /min .

En el sustrato con ostras, contrariamente a lo que se esperaba, y de acuerdo a lo encontrado por Boucher & Boucher-Rodoni (1988), Dame et al. (1991) y Asmus & Asmus (1993), se registraron bajas tasas de liberación de amonio con respecto al sustrato sin ostras. La razón de ello entre otras, pudo estar en el uso de este ion por parte de microalgas (como cianofíceas) principalmente, las cuales que crecen sobre las conchas de los bivalvos y sobre el sedimento, como se observó en la mayoría de los especímenes llevados al laboratorio. Otra causa posible para este comportamiento pudo radicar en la baja densidad de animales que se encontraron en promedio en el área bajo el túnel (7.5 individuos/m^2), con un peso promedio de 26.65 g peso húmedo. Se conoce que la baja densidad de ostras en un área determinada y prolongados momentos de inanición, entre otros factores, no favorecen la producción de heces y seudoheces, las cuales son notoriamente fuente de amonificación (Regnault et al. 1988).

El amonio liberado por el sustrato con ostras y medido en este estudio (promedio en la época de transición de 11.38 mg/m^2/h y 13.20 mg/ m^2 /h en la época seca), resulta muy bajo comparado con el promedio de liberación de amonio registrado por

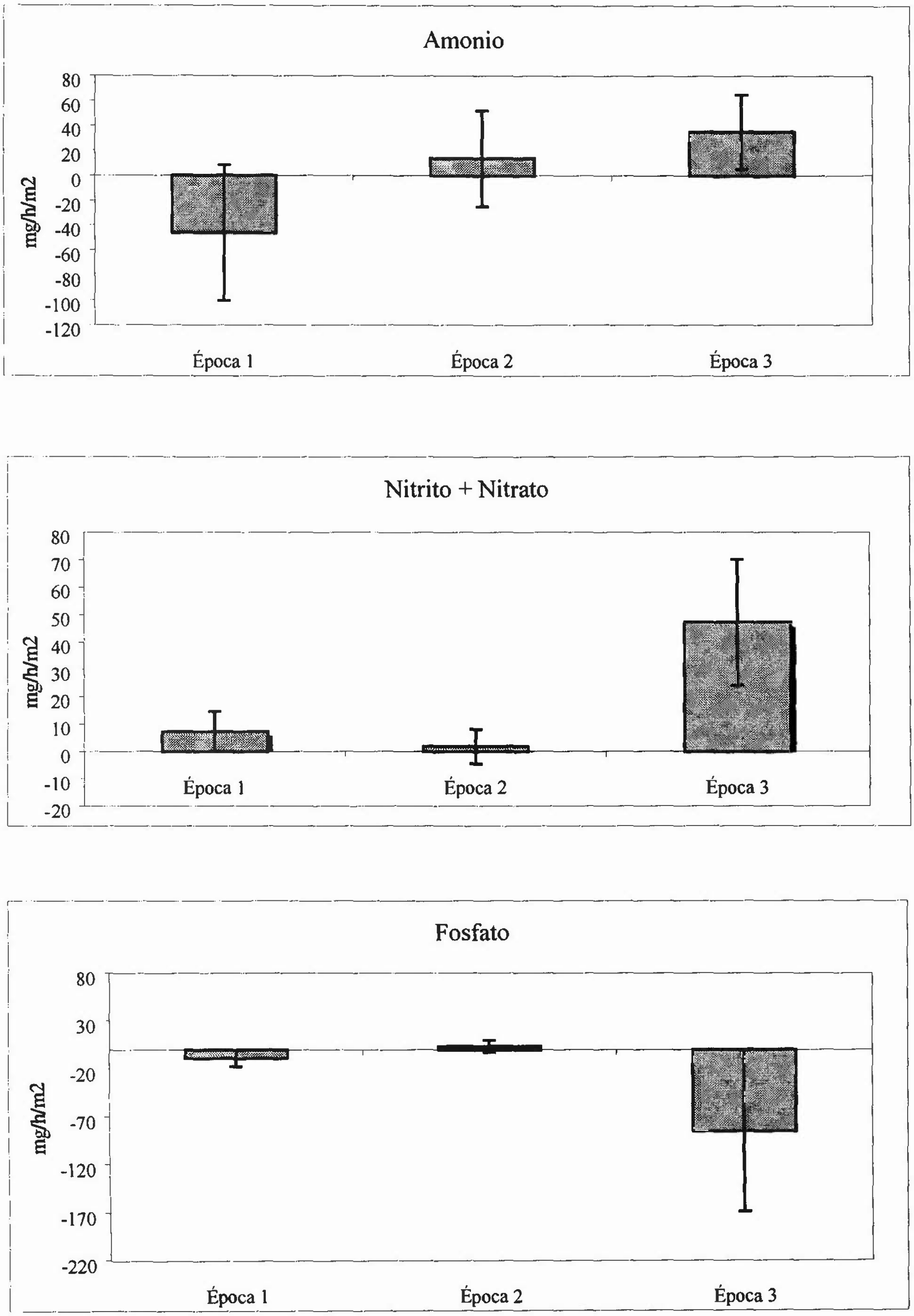

Figura 5. Tasas netas de flujo de nutrientes y componentes del seston durante cada una de las épocas de muestreo en sustratos con y sin ostras. Epoca 1= Seca; 2= de transición; 3= de lluvias. Se presenta el error estándar para n= 72, excepto para la época 1 donde n= 64.

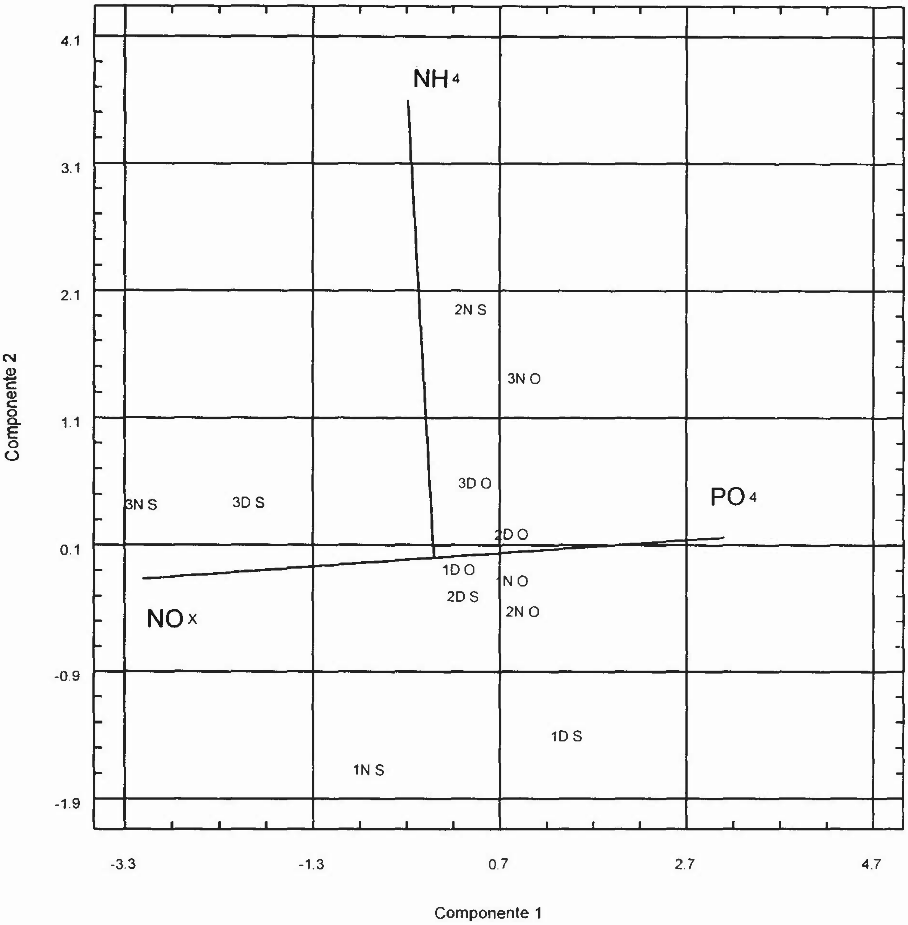

Figura 6. Relación de los dos primeros componentes principales, en donde se observan los vectores de los flujos de nutrientes (líneas) y ubicación de los muestras (puntos). Los números corresponden a las tres épocas de muestreo, D y N corresponden a los períodos día y noche respectivamente. Las letras O y S se refieren a los sustratos con ostras y sin ostras.

Dame & Dankers (1988), quienes calcularon tasas de liberación de la población entre 37.5 y 109.3 mg/ m^2 /h en un banco de ostras con 4919 organismos/m^2 y una biomasa de 818 g peso seco/ m^2. Por su parte, Asmus et al. (1992), en experimentos con poblaciones de *Mytilus edulis* con densidades de 5115 individuos/m^2 y biomasa de 2576 g peso seco/ m^2, hallaron tasas promedio de liberación de amonio de 415 mg/ m^2/h.

En el sustrato sin ostras el proceso dominante fue el de liberación de amonio, lo cual se explica probablemente por los procesos de descomposición de la materia orgánica por parte de las bacterias en los sedimentos. Esto coincide con lo encontrado por Boucher & Boucher-Rodoni (1988), quienes determinaron que las ostras son responsables por el 37.2% de la liberación de amonio únicamente y el resto se le atribuye a los procesos ocurridos en los sedimentos. Otro factor importante que pudo contribuir en la resuspensión o liberación del amonio (y de otros nutrientes) fue la perturbación provocada por los fuertes vientos. Hopkinson et al. (1985) demostraron que la mezcla de masas de agua someras, durante un período de turbulencia, causa la oxigenación del agua del fondo estimulando la respiración aeróbica y el metabolismo bentónico. Sin embargo, respuestas diferentes pueden encontrarse de acuerdo a la estación y al tipo de organismos observados.

Según se encontró a lo largo de las épocas de muestreo, los sustratos se constituyeron en sumideros o retenedores de estas formas nitrogenadas. Esto sugiere que gracias a las concentraciones constantes de oxígeno cercanas al nivel de saturación del aire en las horas del día, como fue registrado en todo el período de muestreo, se presenta retención en los sustratos por procesos de difusión, debido a que en sedimentos no alterados o no perturbados una parte del nitrato generalmente se difunde desde zonas aeróbicas hasta anaerobias donde la desnitrificación es favorecida (Kaspar 1983). Por otro lado, la activa producción primaria de los microorganismos habitantes en ambos sustratos (fitoplancton y microflora bentónica) pudo promover la remoción de nitritos + nitratos de la columna de agua, como se ha sugerido en estudios con mitílidos (Dame & Dankers 1988).

En la noche se registró en el sustrato sin ostras, un proceso contínuo de liberación de nitritos+nitratos similar a lo encontrado en los bancos de mitílidos, en donde el sustrato mismo era fuente de nitratos y nitritos (Dame et al. 1991). En horas del día se retuvieron estos nutrientes, posiblemente debido a procesos de remoción por parte de los microorganismos en la columna de agua y/o sobre el sedimento.

Las tasas de liberación de fosfato se presentaron en mayor proporción en las horas de la noche de la época seca y durante todo el período de la época de lluvias. Esta tendencia puede deberse a que en condiciones anóxicas el ion fosfato es liberado en grandes cantidades, a causa de la disminución del potencial redox (Nixon et al. 1980) cuya condición se repite bajo una delgada cobertura de bivalvos, donde el sedimento tiende a ser altamente anóxico, tanto por los procesos de respiración como por la degradación de depósitos orgánicos en la superficie del sustrato que son finalmente más rápidos que la remineralización de nitrógeno.

Smith et al. (1991) y Enoksson (1993) calificaron como bajas las tasas de liberación de fosfatos (entre 0 y 60 μmoles/m^2 /h) en un sustrato sin ostras. En el sustrato sin ostras de la CGSM, la variación se presentó en un rango entre 21.2 y 173.70 μmoles/m^2 /h en las tres épocas de muestreo, siendo éste último el máximo registrado en ecosistemas estuarinos.

En estudios realizados con el bivalvo Mytilus edulis, las concentraciones obtenidas estuvieron alrededor de 7 750 μmoles/m^2/h (Asmus et al. 1995). En el sustrato con ostras del presente estudio las tasas de liberación oscilaron entre 550 y 609 μmoles/m^2 /h. Comparando estos resultados con los obtenidos por Asmus et al (1995), se encontró que el fósforo retenido por el banco de ostras corresponde proporcionalmente a un 8% del liberado por los mitilidos, como fue dado a conocer por los autores.

De lo anterior puede concluirse que la magnitud de los flujos de nutrientes está regida principalmente por la velocidad instantánea de la corriente que se presente en la zona. A mayor caudal del agua, menores serán los intercambios de nutrientes inorgánicos disueltos. Por otra parte, el comportamiento de los flujos de nutrientes fue independiente de las variables fisicoquímicas que fueron registradas en las tres épocas climáticas. Según esto, los flujos de nutrientes serían regulados en su mayoría por procesos fisicobiológicos inherentes a los sustratos. Comparando los flujos de los nutrientes en un período día-noche, se observa que en horas de la noche la actividad de los organismos bentónicos y procesos físicos, como la difusión, parecen aumentar considerablemente.

La baja densidad de bivalvos encontrada en general en todo el banco de ostras no permitió determinar claramente el papel que juegan estos organismos en la dinámica de los nutrientes, como se ha logrado establecer en otros sistemas estuarinos. Sin embargo, se comprueba la importancia de procesos naturales que suceden en sustratos sin cobertura de macroorganismos, en los cuales se evidencia una mayor influencia en cuanto al intercambio de nutrientes entre el sedimento y el agua que los observados en el sustrato con ostras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo hacen parte de la tesis de Maestría en Ciencias-Biología Marina del primer autor, concedido por la Universidad Nacional de Colombia. Esta investigación se adelantó en el marco del proyecto "Procesos reguladores de la producción biológica en una laguna costera tropical", financiado por COLCIENCIAS, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR , la Facultad de Ciencias y el CINDEC de la Universidad Nacional de Colombia.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 1994. Informe final Proyecto de reapertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena. PRO-CIENAGA. Santa Marta.

Asmus, H. & R. Asmus. 1993. Phytoplankton-Mussel bed interactions in intertidal ecosystems. Págs.70-77 *en*: R. Dame (ed). *Bivalve filter feeders in Estuarine and coastal ecosystem processes.* NATO ASI series, G 33.

Asmus, H., R. Asmus & G. Zubillaga. 1995. Do mussel beds intensify the phosphorus exchange between sediment and tidal waters? Ophelia 41:37-55.

Asmus, H., R. Asmus, T. C. Prins, N. Dankers, G. Frances, B. Maa & K. Reise. 1992. Benthic-Pelagic flux rates on mussel beds: Tunnel and tidal flume methodology compared. Helgol. Meeresunt. 46: 341-361.

Boucher, G. & R. Boucher-Rodoni. 1988. In situ measurement of respiratory metabolism and nitrogen fluxes at the interface of oyster beds. Marine Ecology Progress Series 44: 229-238.

Ciardelli, A. & J. Castaño. 1970. Explotación e investigación de las ostras de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Cartagena: INDERENA.

Cosel, R. Von. 1986. Moluscos de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia). Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín 15-16:79-370.

Dame, R. F. & N. Dankers. 1988. Uptake and release of materials by a Wadden Sea mussel bed. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 118: 207-216.

Dame, R. F., R. Zingmark & E. Haskin. 1984. Oyster reef as processors of estuarine materials. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 83: 239-247.

Dame, R. F., N. Dankers, T. Prins, H. Jongsma & A. Smaal. 1991. The influence of mussel beds on nutrients in the Western Wadden Sea and Eastern Scheldt estuaries. Estuaries 14: 130-138.

Enoksson, V. 1993. Nutrient recycling by coastal sediments: effects of added algal material. Marine Ecology Progress Series 92: 245-254.

Greenberg, A., L. S. Clesceri & A. D. Eaton (eds). 1992. Standard methods por examination of water and waste water, 18 th ed. APHA, AWWA, WPCF. USA.

Hernández, C. 1983. Estado actual de los bancos naturales de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) en el norte de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Hopkinson, C. S., J. W. Day & B. Kjerve. 1985. Ecological significance of summer storms in shallow-water estuarine systems. Contributions to Marine Science 28: 69-77.

Kaspar, H. F. 1983. Denitrification, nitrate reduction to ammonium, and inorganic nitrogen pools in intertidal sediments. Marine Biology 74: 133-139.

Kelly, J. R. & S. W. Nixon. 1994. Experimental studies of the effect of organic deposition on the metabolism of a coastal marine bottom community. Marine Ecology Progress Series 17: 157-167.

MANCERA, J. E. 1991. Estimación de la productividad secundaria en bancos de ostra *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe, Colombiano. *En*: L. Botero (ed). Programa Lagunas Costeras Proyecto "Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta- Delta exterior del Río Magdalena, 2a Etapa. INVEMAR 1988-1990".

NIXON, S. W. 1981. Remineralization and nutrients cycling in coastal marine ecosystems. Págs 11-138 *en*: B, J. Neilson & L. E. Cronin (eds). *Estuaries and Nutrients*. Humana Press, Clifton, NJ, EE.UU.

NIXON, S. W., J. R. KELLY, B. N. FURNAS, C. A. OVIATT & S. S. HALE. 1980. Phosphorus regeneration an the metabolism of coastal marine bottom communities. Págs. 219-242 *en*: K.R. Tenore & B.C. Coull (eds). *Marine benthic dynamics*, University of South Carolina Press, Columbia, SC, EE.UU.

PEDRAZA, R. 1978. Evaluación del potencial y distribución del recurso ostra en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

REGNAULT, M., R. BOUCHER-RODONI, G. BOUCHER & P. LASERRE. 1988. Effects of macrofauna excretion and turbulence on inorganic nitrogenous exchanges at the water-sediment interface. Experimental approach in microcosms. Cah. Biol. Mar. 29: 427-444.

SMITH, S. V., J. HOLLOBAUGH, S. J. DOLLAR & S. VINK. 1991. Tomales Bay metabolism: C-N-P stoichiometry and ecosystem heterotrophy at the land-sea interface. Estuarine and Coastal Shelf Science 33: 223-257.

SQUIRES, H. J. & G. RIVEROS. 1971. Algunos aspectos de la biología del ostión (*Crassostrea rhizophorae*) y su producción potencial en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estudios e investigaciones No. 6. FAO/INDERENA.

STRICKLAND, D. H. & T. R. PARSONS. 1976. *Practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

WIEDEMANN, H.U. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. Mitteilungen Institut Colombo-Alemán Invest. Cient. 7:85-119.